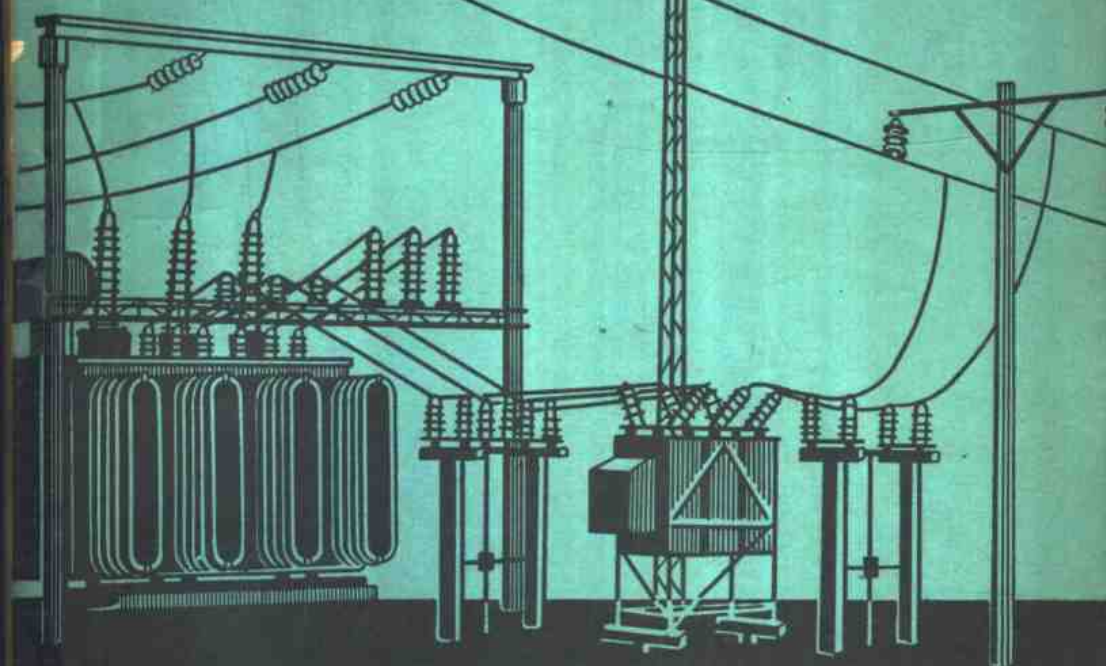


358132

清华大学图书馆
基本馆藏



Е. Я. 阿发納塞也娃 Б. Е. 捷羅尼穆斯 В. Б. 拉賓 Л. Г. 米洛維多夫 著

交流 牵引变电所的设备 及运行

3
44

交 流 牽 引 變 電 所 的 設 備 及 運 行

Е.Я. 阿发納塞也娃 В.Е. 捷罗尼穆斯 著
В.Б. 拉 賓 Л.Г. 米洛維多夫
潘启敬 賀威俊 等 譯

人 民 鐵 道 出 版 社

1 9 6 4 年 • 北 京

本书主要叙述交流电气化铁道牵引变电所的设备、配电装置的结构、线路图、各种工作状态的分析与计算以及在日常运行中的维修检查工作制度及方法。对短路电流的保护、变电所的自动装置与遥控原理，也作了简单的介绍。

本书供电气化铁道工程技术人员使用，也可以作大专院校有关专业的教学参考书。

本书由唐山铁道学院潘启敬、贺威俊、李凤沼、简克良、张淑琴合译。

交流牵引变电所的设备与运行
УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
苏联 Е.Я.АФАНАСЬЕВА,
Б.Е.ГЕРОНИМУС, В.Б.ЛАПИН,
Л.Г.МИЛОВИДОВ著
苏联国家铁路运输出版社 (1962年莫斯科俄文版)
ВСЕСОЮЗНОЕ ИЗДАТЕЛЬСКО-
ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
МОСКВА 1962
潘启敬 贺威俊 等译
人民铁道出版社出版
(北京市霞公府甲24号)
北京市书刊出版业营业许可证出字第010号
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民铁道出版社印刷厂印
书号 1960 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $7 \frac{7}{16}$ 插页2 字数171千
1964年10月第1版
1964年10月第1版第1次印刷
印数0001—1,800册 定价(科六)1.20元

目 录

第一章 交流电力牵引的供电线路图	1
§1. 交流电力牵引的特点.....	1
§2. 牵引变电所外部供电原则.....	4
§3. 动力变压器的类型及绕组接线方式.....	6
§4. 交流变电所对牵引网的并联工作.....	10
§5. 由牵引电压母线及单独变压器向区域 及线路用户供电.....	23
第二章 变电所的工作状态	28
§1. 主变压器容量的确定.....	28
§2. 牵引网供电线路图, 及考虑牵引供电系统 强迫状态下保证后备要求时主变压器容量 的选择.....	35
§3. 交流供电设备中短路电流的计算.....	41
§4. 由牵引负荷造成电流及电压的不对称 及其对外部供电系统的影响.....	52
§5. 无功功率的补偿.....	68
§6. 电压的调节.....	75
§7. 过电压的保护.....	77
第三章 牵引变电所的线路图和配电装置结构	87
§1. 变电所单线线路图.....	87
§2. 牵引变电所屋内部的结构.....	93
§3. 牵引变电所屋外配电装置.....	103
第四章 牵引变电所的设备	118
§1. 动力变压器.....	118
§2. 开关电器及其驱动机构.....	121
§3. 保护、控制、测量及自动装置用电器.....	142
第五章 自用电和操作回路	144
§1. 交流和直流自用电线路图.....	144

§2. 主要配电设备的控制和保护回路	153
§3. 降压变压器的控制和保护回路	162
§4. 信号设备变频机组线路图	173
第六章 短路电流及其影响的保护, 接地	180
§1. 接触网馈电线短路电流的保护。馈电线存在故障时的检验方法与线路图	180
§2. 交流牵引网的谐振及其阻尼作用	192
§3. 保护接地	194
第七章 自动装置与遥控	196
§1. 自动化对象及范围	196
§2. 自动重合闸 (AIB) 及自动投入备用 (ABP) 的原理	198
§3. 自动装置与遥控的配合, 以及遥控对象的选择	199
§4. 遙信	200
§5. 遙测	201
§6. 远动系统特性的简单介绍及远动化牵引变电所的维护原则	202
第八章 交流牵引变电所的维护	204
§1. 运行工作人员的职责	204
§2. 记录与表报	206
§3. 变电所工作的运行指标及其确定方法	208
§4. 油业务的管理	209
§5. 牵引变电所安全技术规程	212
第九章 牵引变电所设备修理与运行	221
§1. 设备修理及保养作业种类	221
§2. 变压器	222
§3. 高压断路器	224
§4. 隔离开关、短路接地器、高速分离器	226
§5. 母线、绝缘子及接地	228
§6. 自动闭塞供电装置及自用电	230
§7. 仪用互感器及避雷器	231

参考文献

第一章 交流电力牵引的供电线路图

§1. 交流电力牵引的特点

世界各国基本上是按下述四种方式之一进行铁道电气化：直流、三相交流、低频单相交流及工频单相交流。

直流制 电力系统所生产的三相交流电在牵引变电所转换为不同电压（从650至3300伏）的直流，供电力机车的牵引电动机使用，牵引电动机直接与接触网联接。

三相交流制 电力系统所生产的三相交流电压在牵引变电所变换为适合于沿接触网传输能量的电压级；接触网装设有两相导线（第三相导线为行车轨道）。机车的异步牵引电动机直接或经过电力机车上所安装的变压器，与接触网联接。

低频单相交流制 这种牵引制中所应用的大容量及高电压的单相整流子电动机，不能在频率为每秒50周或60周（赫芝）的交流下工作，因为它们的整流质量及可靠性只能在不超过25周的频率下才能得到保证。因而必须修建专门的发电厂来生产低频（25周或 $16\frac{2}{3}$ —周）单相交流，或者将标准频率的三相交流变换为低频单相交流。在这种牵引制中，接触网的电压一般采用15千伏，机车的牵引电动机经过电力机车上所安装的变压器而受电。

工频单相交流制 在这种牵引制中牵引变电所将电力系统生产的三相交流转换为单相交流，并将电压降到适合于沿接触网传输能量的水平。机车的牵引电动机经过变压器及变换装置而受电，后者根据牵引电动机类型的不同，可能是将电能变换为直流，或者是某一频率的三相或单相交流。具有水银整流器变换器和直流牵引电动机的电力机车获得了广泛应用。这种电力机车叫做整流式电力机车。本书中叙述的牵引网及牵引变电所的过程，就是针对着这一类型的电力机车。

在许多国家中，目前正进行着在交流电力机车上应用半导体整流器的试验。

苏联在1939年曾经制造了第一台试验性的水银整流器式电力机车 OP，然而战争开始后终断了这一工作，直到1949—1950年才又重新恢复工作。

在1954年，在事先经过一系列的研究之后，将奥热列尔—巴维列茨间长 136 公里采用20千伏交流电压进行电气化的铁路干线试验区段投入运行。诺沃切尔卡斯克工厂为此区段生产了 12 台 H0 型水银整流器式电力机车，之后（1957~1958年间），该区段及电力机车改用25千伏。目前西伯利亚干线有1200公里以上的区段按交流制修建和在运行中。

工频交流电力牵引制与其他牵引制比较起来，其优越性是如此的明显和有说服力，因而在制订苏联国民经济发展计划的时候曾规定，今后进行铁路电气化时要从过去所采用的直流制过渡到工频交流制。

苏联工业除了已生产的 H60 型交流电力机车外，还将生产 H80 型电力机车、ЭР 7 型电动车组，并且开始生产用半导体整流器的机车车辆（H62）。

根据研究与试验的结果，在苏联以及其他许多国家，都以具有水银整流器的单相—直流电力机车作为系列生产的机车。

不论就整个牵引供电系统或单就交流牵引变电所来说，其装置的许多特点都是由整流式电力机车的工作特性所决定的。

交流电力牵引供电系统及牵引变电所的电路及结构的某些部分，决定于在电力机车上安装着按全波线路接线的静止式整流器，以及牵引网存在着交流电压。

电力机车上的整流装置决定了接触网电流波形的畸变，即有高次谐波出现。这一特点确定了交流供电系统电压损失的特性，它与具有正弦负载的线路上的电压损失有很大不同。这一特点也造成了“变电所—电力机车”系统功率因数的恶化，以及在有线通信线路或其他沿铁路线通过的低压线路中高频干扰感应电压的

出现，因而要求在牵引变电所安装阻尼装置，并要求在无功率横向补偿电路中接入电抗器。

交流电力机车功率因数 ($\cos \varphi$) 过低，需要改善，即需要在牵引变电所安装电容器组的无功功率补偿装置。

应用水银整流器的电力机车在牵引状态的效率相当低，而在起动过程则较直流制为高。这是由于借助用变压器抽头调节牵引电动机的电压避免了起动电阻中的能耗。由于不常起动，故这一特点对交流机车的平均电流并无多大影响，但对接触网发热计算有很大影响。引起接触网发热的电流值可因此而降低 10—15%。

最后，电力机车整流管有逆弧的可能，因而对接触网短路保护有严格要求，使接触网保护的时间关系复杂化，不过这时可以采用新的保护原则。

交流牵引网的基本供电线路图是两边供电线路图，此时牵引变电所之间的牵引网区段从两端由两个变电所接受电能。一边供电线路图很少应用（只应用于电气化线路的终端区段）。在某些情况下（主要是枢纽），采用由一个变电所向两个以上的相邻馈电区段供电，各方向的每一股道的接触网经单独的油开关从变电所供电。在双线区段，规定同一区段的两股道的接触网联接到同一相，同时在牵引变电所之间可以装设两股道接触网的几个（3—5）并联联接点。

根据接触网短路保护的條件，一般在每一馈电区段装设一个带开关的分区亭，并设有过电流保护。

中间站站线的分段原则与直流制中相同。在拥有牵引变电所的车站，站线或者是分段并由区间馈电线供电（当股道少时），或经专门的站线馈电线开关由牵引变电所母线供电。

机务段的线路总是经过开关供电的（或者由变电所母线，或者当附近没有变电所时，由站线接触网供电），为此应修建专门的具有一个开关的分区亭。在枢纽没有牵引变电所时这种（或具有多个开关的）分区亭用于向叉线供电。

车站上接触网隔离开关的配置方法象直流制中一样。

交流牵引网的一个重要特点是在牵引变电所联接处必须设有分相绝缘器。这是由于牵引变电所不同方向的接触网是由不同相供电的，必须消除电力机车受电弓架将这些不同相跨接的可能。

§2. 牵引变电所外部供电原则

在苏联，交流制电力牵引装置的电能是由电力系统经电力传输线供给的，电压不低于110千伏。对于这种牵引制采用较低的标准电压(6、10或35千伏)是不适当的，因为每个变电所的容量都很大，要求很粗的传输线。由于牵引变电所配电设备很贵，应力求避免应用高于110千伏的输电线路，但是在某些情况下也应用154或220千伏。

变电所与电力系统联接的典型电路是由纵向两回或一回传输线供电。

在两回传输线时建议至少每经三个中间牵引变电所要布置一个中心变电所，后者所具有的供电电压(110—220千伏)的配电装置，要能够在不中断供电下进行外部电网接线方式的任何改变，并且还能实现电力系统间的能量通过。中间变电所或是T型联接到

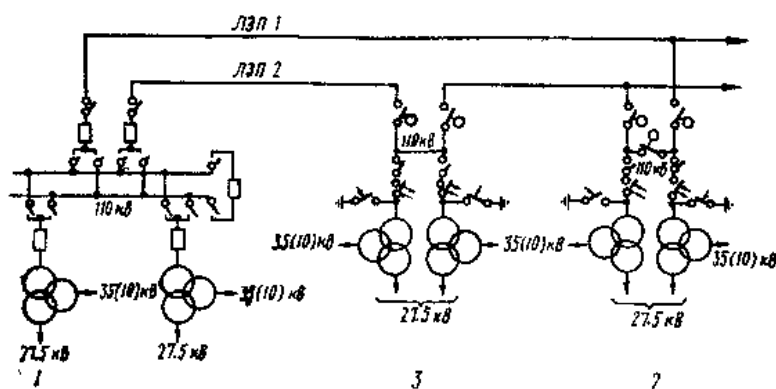


图1. 牵引变电所与两回传输线联接的原理线路图。

1——中心变电所；2——T型联接的中间变电所；3——通过式中间变电所。

两回 110 千伏的传输线上，或是在变电所范围内在给此变电所供电的一回传输线中装设分段装置。这两种型式的中间牵引变电所应当沿铁路线交错布置。

必须指出，电力系统的供电中心及大容量区域变电所可以具有中心牵引变电所的作用。图 1 所示为牵引变电所与两回传输线联接的原理线路图。

在一回传输线时，建议传输线穿过所有牵引变电所的 110 千伏配电装置。而且变电所可以是在传输线的进线和出线间的跨线中设有电力断路器或者是不带断路器，在一回传输线时，中心变电所的作用由电力系统的供电中心或区域变电所担任，牵引变电所与一回传输线联接的原理线路图示于图 2 中。

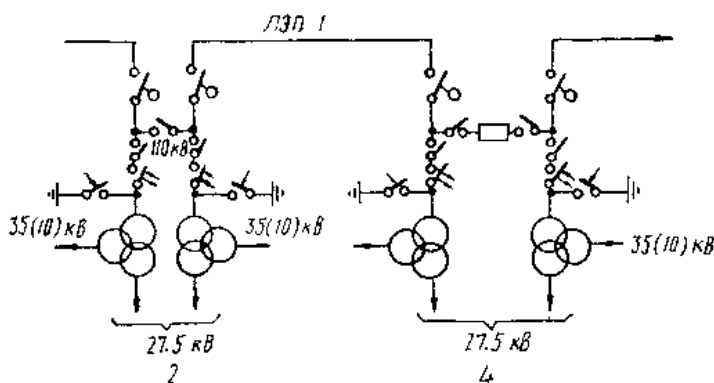


图2、牵引变电所与一回传输线联接的原理线路图。

2——中间变电所；4——换通式变电所。

考查一下图 1 及图 2 可看出，牵引变电所按高压配电装置联接电路的不同可以有四种类型。

中心变电所 供电电压为双母线系统，母线间具有母线联络断路器，并在各联接线（进线、变压器等）上设有电力断路器。

两回线时的 **T型联接中间变电所**，或一回线时在跨线中无电力开关的中间变电所（比较图 1 及图 2 可知在这两种情况下变电所的电路是相同的）。在这种变电所中供电电压侧无电力断路器，利用分离器或隔离开关作为操作器械，它们只能在被开断的电路

完全没有电流的期间才可以操作，或合（开）降压变压器的空载电流。这些器械在供电线路断路器（在传输线起始端）跳闸后至此开关由AIB重合的期间（此期间叫做无电流间隔）进行操作。利用短路接地器作为引起供电传输线始端断路器跳闸的保护器械。由于传输线进线的布置、变压器的联接，以及变电所跨线的接线形状，这种电路叫做桥型电路。

通过式中间变电所，在这种变电所中进行一回或两回传输线的分段。这种变电所与传输线的联接电路不同于T型联接变电所的地方是为了减少通过式线路中的电器数目，变电所跨线中无隔离开关。

换通式中间变电所。这是一回传输线时在进线间的跨线中具有电力断路器的中间变电所，此断路器保证了传输线为具有保护的分段。这一断路器严重地影响到房屋结构及二次配电电路，因而有必要将这种变电所分为单独的一种类型。

除了供电电压的配电装置外，在变电所一般有两台三相三绕组降压变压器，或两组单相和三相变压器（分别供电给牵引负荷及非牵引负荷）；牵引电压配电装置；向附近地区非牵引负荷供电的配电装置（有时根据区域负荷电压的需要此配电装置可以是两套）；以及配电盘室和变电所辅助装置所在的房屋。变电所各部分功用的这种分配，允许在某些情况下避免修建专门的牵引变电所，并将牵引变压器及牵引电压的配电装置安装在电力系统的区域变电所。这种方式是很经济的，而且从下述考虑来看也是允许的，这就是，由于接触网电压高，允许变电所离开铁路线远一些。

交流牵引变电所的单线接线图在后面详细讨论（见第三章§1）。

§3. 动力变压器的类型及绕组接线方式

交流牵引变电所可以应用几种类型的电力变压器，具有不同

的绕组接线方式和不同的绕组数目。

图3所示为用于交流电力牵引供电的电力变压器副绕组的许多种可能接线方案的几种。这里没有画出原绕组。对于三相变压器，原绕组一般联接为星形或三角形（图3中的电路1、2、3、4、5），若为单相变压器（电路6、7），其联接方式与副绕组相同。图中标有接地的绕组的端子自然是与轨道电路联接；一边或两边供电的牵引负荷规定用绕组末端的箭头表示。

图3电路1可以应用于所有三相负荷均匀并且具有三角形联接的第三绕组的情况下。

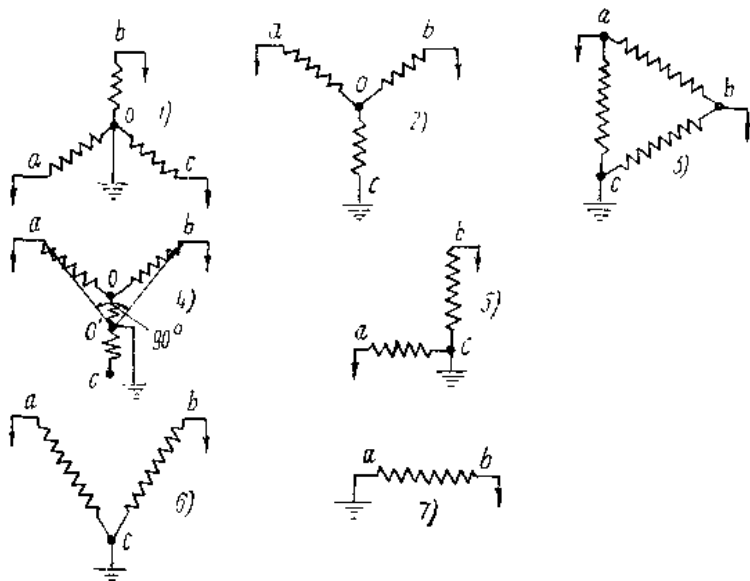


图3. 交流牵引变电所电力变压器副绕组的可能接线方式。

在特殊负荷情况下（例如在具有大量调车工作和大量到发列车线路的大车站上），或者在牵引网采用特殊供电线路图时，可以保证变压器副绕组所有三相的牵引负载相同。

对于广泛应用的具有两臂负荷的一般牵引变电所的情况来说，上述电路是不适合的，因为绕组铜线的利用很不好。在讨论图3的三相变压器电路1、2、3时，假定它们是作成对称的，即各绕组的构造及铜线截面是相同的。

区域用户的非牵引负荷只能够由单独的（第三）绕组供给，后者联接为三角形，电压为6—10千伏。而这在许多情况下是不够的。

如果有必要以35千伏由一般星形联接的绕组供电给区域负载，则为此必须具有单独的绕组，同时还必须具有专门的三角形联接的绕组用来减小变压器合闸时的励磁电流涌进和补偿平衡负荷的三次谐波电流。苏联现行国家标准401—41条关于变压器的规定中没有规定制造这种绕组的变压器。

基于图3电路1的同一原因，图3中的电路2也不太适合。

具有现行国家标准所规定之绕组接线的三相变压器中最适合的是图3的电路3，在这一电路中牵引负荷由三角形联接的绕组供电。此时对称变压器绕组的铜得到最大的利用，而且对向区域用户供电的第三绕组的电压及接线方式没有什么限制。

图3的电路4为特制的不对称三相变压器的副绕组，其副边相绕组联接为星形，在一个相绕组的一部分设有抽头，并且使此抽头与其他两绕组 a 及 b 之间的电压向量相差 90° 。此抽头 o' 与轨道联接，而电压 $o'-a$ 及 $o'-b$ 则加到牵引网上，经牵引变电所供电臂向牵引负荷供电。

同时还可从副绕组的端子 a 、 b 、 c 向三相区域负荷供电。副绕组的电压是这样选择的：使得各端子间的电压等于标准电压35（38.5）千伏，而抽头 o' 与 a 及 b 每一端子间的电压等于交流电力牵引供电所采用的电压，即27.5千伏。

当两臂的负荷相等时，能保证两臂的牵引负荷在原绕组的三相作均匀分布。因而使高压母线和区域负荷母线的不平衡电流及电压得到一些降低。但是如果两供电臂的负荷极不均匀，则这种电路便无任何优点，而且还不如图3的电路3。这种变压器绕组结构特殊且需要有联接成三角形的单独绕组，使其成本增大。基于上述原因，并且由于苏联工业不生产这种变压器，尽管某些机构（全苏电工科学研究院、莫斯科铁道学院等）曾建议采用这种变压器作为牵引供电，这种变压器在牵引变电所仍没有获得应用。

图3电路5所示为由两台变压器为一组按所谓“斯考特线路”联接而成的副绕组的电路。这种变压器组的完全的三相电路及其向量图如图4中所示。这种电路在牵引变电所两供电臂的负荷相同时，在供电传输线各相能得到满意的平衡，因而在交流电力牵引发展的最初年代里，在国外（例如法国）用交流进行铁道电气化时，曾被广泛应用。

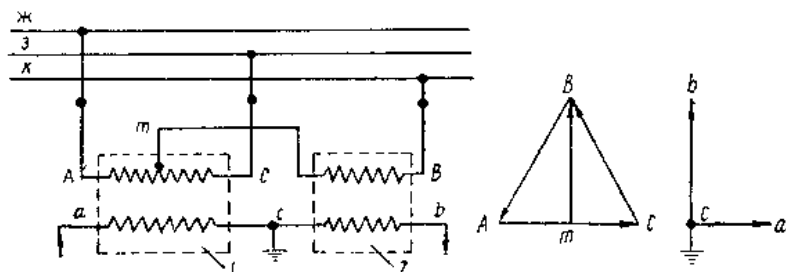


图4. 按斯考特线路联接的变压器组及其向量图。

1——斯考特线路的基础元件；2——附加元件。

由于其两个元件的原绕组电压不等，使其生产变得复杂，且降低不平衡电流及电压的问题也解决得不够满意，因而使得这种电路在苏联不被采用。值得指出的是，过去应用这种电路的一些国家最近几年来也被单相变压器所替换，后者在成本方面，运营的便利上，及电能的指标上，均优于“斯考特接线”的变压器。

在应用单相变压器供电给双臂牵引负荷时，最好将其高压侧和低压侧都按“开口三角形”联接，如图3电路6所示。

在电气化区段的终端变电所或在运量小的区段，允许在牵引变电所安装一台单相变压器（图3电路7）。

当用单相变压器作牵引供电时，区域负荷应当由单独的三相变压器供电。

根据上述电路的分析，曾确定，在苏联的条件下，在广泛采用交流电力牵引的初期，最好在牵引变电所应用牵引绕组为三角形接线的三相三绕组变压器，或者应用单相变压器。

交通部全苏铁道研究院电气化所交流电力牵引研究室与运输建筑工程部运输电力设计院一起，进行了这两种类型变压器的进

一步的技术和技术-经济比较，确定了它们的应用条件和应用范围。

在比较了这两种类型的电力变压器在不同变压器台数、不同区域负荷（非牵引负荷）、接线方式以及不同的供电后备方式时的成本和电力指标后，确定：当平均区域负荷与平均牵引负荷之比在0.5—0.9的范围时，应用单相变压器作牵引负荷最有利；当区域负荷比重较大时，应用三相三绕组变压器较为有利。

在上述条件下应用单相变压器可以：

- 1) 减少牵引用电力变压器的安装容量15—25%；
- 2) 减小牵引网的电压损失，并使各供电臂电压损失变得平坦。
- 3) 减小区域负荷母线的电压不平衡；
- 4) 简化了牵引变电所的线路图，而且从备用方面看使变电所线路图更为灵活，如果在“开口三角形”的一臂应用两台变压器代替一台，则其中每一台将为另一臂所安装的变压器容量的一半；
- 5) 在许多情况下简化了无功功率电容补偿装置，并使其成本降低；
- 6) 大大简化了牵引母线电压自动调节装置（如果需要应用时）。

所有这些使得单相变压器比目前所应用的三相变压器更有前途。

§4. 交流变电所对牵引网的并联工作

交流变电所对牵引网的并联（两边供电）工作比一边供电具有许多优点。牵引负荷的两边供电在运行方面更可靠；在这种电路中接触网中电力机车受电弓上的电压降较小，因而容易保持按速度驾驶列车的正常状态，减少牵引网中电能的损耗；这种电路还许可减少接触网中区分绝缘器的数目，后者要求电力机车断电

通过，因而使电力机车在线路断面不良时运行困难。

在并联工作时接触网中的总能耗减小了，但是由于变电所间有均衡电流流过可能造成能耗的某些增大；这一附加损失不大，可以用转换变压器绕组抽头或自动调节电压的办法来减小。

三相电力变压器并联工作的可能性决定于下列条件：空载电压、线电压向量的相角差及变压器的短路电压 u_k 应当相同；变比偏差不允许超过 $\pm 5\%$ ； u_k 的偏差不超过 $\pm 10\%$ ；额定功率的差不超过两倍。为了保证变压器电压的所有三个向量的相角差相同，变压器绕组接线方式及联接组也应当相同。但是变压器联接组不相同三相变压器也可以在牵引网并联工作（按二相制），只是相邻牵引变电所加到接触网上的电压要符合另一条件，即加到两变电所间同一接触网区段的线电压的向量应当平行而且方向一致。

在绘制和研究变电所并联工作电路时，将遵照工业上所采用的变压器绕组的实际符号系统[2]：

1) 在这一系统中绕组的始端用 A 、 B 、 C 字母表示，而其末端分别用 X 、 Y 、 Z 表示；对于高压绕组用大写字母，对于低压绕组用小写字母；

2) 对于同方向的绕组，原边电压及副边电压的向量具有同一方向（由 X 至 A ）；

3) 向量相序在向量末端箭头处表示；

4) 对于任何类型的线圈，供电端子的更替就意味其铁心的磁化变为相反方向，也就是说线圈端子标志的更替就等于绕组中的电流方向改为相反方向；

5) 不论绕组的类型、结构及匝数如何，其作图是相同的；

6) 建议电力牵引外部三相供电系统的相序用黄-绿-红（用字母表示相序时为 $A-B-C$ ），这一系统的电压向量图不随变压器的接线方式以及变压器的哪一端子加在原电网的这一相或那一相而改变。同时假设高压绕组（ BH ）为原绕组；

7) 随着绕组接线方式及其标志的不同，原边电压和副边电

压的向量系统可能彼此间有相移，这一点由变压器的联接组来表示（用时钟法）。

联接组可以这样来确定：将原边电压和副边电压的向量图画在一起并使它们的重心相重合，从此重心向同名向量末端的方向画箭头。而且用指向原边电压向量末端的箭头表示分针，并将其永远放在12点钟上。

作为例子，图5为按原边及副边绕组的向量图、“星形—三角形”接线的变压器的绕组接线图及联接组的时钟表示图。根据所采用的规定，这一变压器具有的联接组为1点钟。

改变“三角形”接线中绕组的联接顺序，可使组的时钟表示改变两小时，如图6所示。

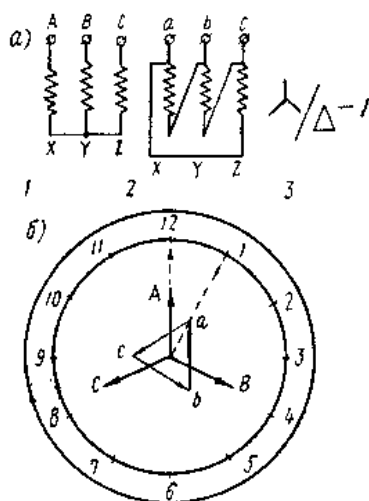


图5. 人/Δ-1 变压器绕组的接线图及向量图，

1——原绕组； 2——副绕组；
3——联接组的表示符号。
a——绕组接线图；6——具有绕组组别时钟表示的向量图。

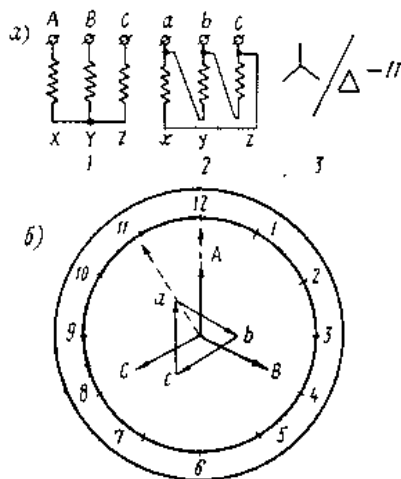


图6. 人/Δ-11 变压器绕组的接线图及向量图，

1——原绕组； 2——副绕组；
3——联接组的表示符号。
a——绕组接线图；6——具有绕组组别时钟表示的向量图。

改变一组绕组的方向（高压或低压）使联接组改变6小时。将变压器一组绕组的各端子循环改变符号时，随着循环变号走向